

Recibido: 22 / 10 / 2009, aceptado en versión final: 27 / 11 / 2009

Sistema de Información Topográfico y Geodésico

Topographical and Geodesic Information System

Ricardo Santos Rodríguez¹, Hildebrando Buendía Ríos¹, Octavio Calla Ramos¹, Franci Cruz Montes²

RESUMEN

En los proyectos de ingeniería topográficos y geodésicos, se realizan cálculos matemáticos precisos de manera rápida y económica para aplicarlos a los diseños de las obras de ingeniería, tanto en el espacio urbano y rural.

Por ello el desarrollo del presente software denominado Sistema de Información Geodésico y Topográfico (SisTopGeo), nos va a permitir ejecutar varias de las aplicaciones muy útiles y de uso común en topografía, geodesia y astronomía básica, permitiendo resultados iterativos inmediatos, los que se obtendrán ingresando los datos de campo y con solo presionar el botón *Cálculo*, se obtendrán los resultados confiables; los mismos que permitirán enseguida representarse en un plano de una determinada extensión de terreno, por medio de programas existentes de dibujo como Autocad Land, Civil CAD, entre otros.

Con los datos y resultados obtenidos aplicados a los sistemas SisTopGeo, Progradeod (IGN), CoordTrans (Franson Technology) y Geocalc (Blue Marble Geographics), se hicieron las comparaciones y se obtuvieron resultados satisfactorios. Se comprobó que el SisTopGeo arroja resultados confiables.

Tanto es así que al hacer las comparaciones de transformación de Coordenadas Geográficas a UTM procesado por los cuatro sistemas se encuentra que la máxima variación al este es de -2.806mm para la Estación Pilán (1er Orden) y en el Norte la máxima variación es de 8.458mm para la Estación Bco. Hipotecario; todo comparado con el sistema SisTopGeo.

En las comparaciones con el IGN, se encuentra que la máxima variación al Este es -2.80mm que corresponde a la Estación Pilán (1er Orden) y para el norte la máxima variación es -8.358mm para la Estación Bco. Hipotecario.

Con las dos comparaciones se observa que en el eje de las abscisas (Este) se tiene una máxima variación de -2.8mm y en el eje de las ordenadas (Norte) dicha variación es de ± 8.4 mm, para estaciones de primer orden; por lo que se puede concluir que los resultados encontrados por el SisTopGeo son aplicables a nuestra realidad.

Palabras clave: Topografía, Geodesia, Astronomía, Coordenadas Geodésicas.

ABSTRACT

In the projects of geodesic and topographical engineering, precise mathematical calculations are carried out in a fast way and economic to apply it to the designs of the works of engineering, so much in the urban and rural space.

Because of it the development of the Geodesic and topographical Information System called program present (SisTopGeo), is going to permit us to execute several of the very useful applications and of common use in Topography, Geodesy and basic Astronomy, permitting iterative immediate results, the ones that will be obtained entering the data of field and with only pressure the button calculation, the dependable results will be obtained, the same that will permit immediately to be represented in a plan A they determined extension of land, through existing programs of drawing as Autocad Land, Civil CAD, among others.

With the data and results obtained applied to the systems SisTopGeo, Progradeod (IGN), CoordTrans (Franson Technology) and Geocalc (Blue Marble Geographics), was done the satisfactory comparisons being obtained results and being found that the

¹ Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
E-mail: rsantosro@yahoo.es, hbuendiar@yahoo.es, ojosecr@latinmail.com

² Facultad de Ingeniería Civil-Universidad Nacional Federico Villarreal.

SisTopGeo throws dependable results. Such it is so upon doing the Geographical Coordinates transformation comparisons to UTM processed by the four systems is found that the maximum variation to the east is of -2.806mm for the Station Pilán (1er Order) and in the north the maximum variation is of 8.458mm for the Station Banco Hipotecario; all compared with the system SisTopGeo.

In the comparisons with the IGN, is found that the maximum variation to the east is -2.80mm that corresponds to the Station Pilán (1er Order) and for the north the maximum variation is -8.358mm for the Station Banco Hipotecario. With the two comparisons is observed that in the axis of the abscissas (This) has a maximum variation of -2.8mm and in the axis of the orderly (North) said variation is of ± 8.4 mm, for leading Stations; for which can be concluded that the results found by the SisTopGeo are applicable to our reality.

Keywords: Topography, Geodesy, Astronomy, Geodetic Coordinates.

I. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación está enmarcado dentro del campo topográfico y geodésico, teniendo en cuenta que los diversos proyectos de ingeniería, requieren contar con cálculos matemáticos precisos de manera rápida y económica, de los diversos parámetros que requieren los diseños de las obras de ingeniería, tanto en el espacio urbano y rural.

Los grandes y pequeños proyectos de ingeniería requieren la utilización de un software geodésico y topográfico para efectuar los cálculos en forma oportuna y con resultados confiables, que permita representar en un plano una determinada extensión y planificar el desarrollo de los diferentes pueblos del país.

La topografía y geodesia en general requieren del apoyo de un software especializado para calcular las diferentes fórmulas con los datos recopilados en el campo, aplicables a las diferentes disciplinas de la ingeniería y con ello permita elaborar los planos topográficos de pequeñas, medianas extensiones de terrenos y apoyado en la geodesia se elaborarán planos cartográficos de superficies grandes.

En el país no se producen programas o software aplicables a estas especialidades, sino que se acude a software extranjero, como el Geocalc, Autocad Land, etc., los cuales no están acordes con las normas técnicas usuales en el país y tampoco están al alcance de la economía de los usuarios.

En la actualidad, con el advenimiento de los equipos electrónicos de precisión, ya sea Estación Total, GPS geodésico, etc., se hace necesario que los proyectos topográficos y geodésicos tengan normas técnicas para la elaboración de levantamientos de planos cartográficos que se apoyan en redes de figuras geométricas. Ellas son la triangulación, trilateración, poligonación, etc. de orden "0, A, B y C", cuyas normas técnicas las establece el Instituto Geográfico Nacional del Perú y sirven de apoyo para formar otras redes de orden inferior y a partir de estas se efectuará el levantamiento topográfico (IGN, 2005).

Con el fin de representar las características del terreno, es necesario apoyarse en redes de control (formado por vértices y líneas que unidas, van formando figuras geométricas); para lo cual se deben fijar puntos sobre la superficie de la tierra con la precisión requerida a través de mediciones angulares y lineales (Martín, 1992).

Utilizando los software adecuado se aumenta la precisión y la disminución de los errores que afectan a la posición de los puntos de las redes de control geodésico y topográfico (Chueca, 1996).

La precisión del plano de la zona y el posterior replanteo de las obras de ingeniería, dependen de la exactitud en la determinación de estos puntos de control, en el cual las coordenadas "N" y "E", constituirán el control horizontal o planimétrico y la coordenada "Z" o altura, (cota ortométrica), constituye el control vertical o altimétrico (Gutiérrez, 1991).

El reproducir idénticamente la superficie de la Tierra en un plano, es un problema planteado desde la antigüedad hasta hoy, puesto que constituye un desafío sin solución, por eso a lo largo del tiempo la representación cartográfica ha desarrollado múltiples sistemas, en los cuales se logra mantener solo algunas de las cualidades matemáticas de esa superficie.

Para lo cual se requiere elaborar un proyecto que solucione estos problemas, con un plano cartográfico que represente fielmente las características del terreno y esté integrado a la Red Geodésica del país; por lo cual es importante determinar sus características con la precisión requerida, caso contrario continuarán existiendo los problemas de índole técnico y económico en el desarrollo de nuestro país (Serafín, 1980).

Teniendo en cuenta que existen instrumentos de precisión como el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y los soportes teóricos necesarios para determinar los errores, se ha visto por conveniente formular un método menos complejo y económico que tendría en cuenta el comportamiento de una matriz de incidencia en el Ajuste y Compensación en Bloques de Redes de Control Vertical, el cual

servirá como base para elaborar las cartas geográficas considerando las alturas, con lo cual se procura minimizar dichos errores, para que la representación de la superficie de la Tierra sea lo más exacta posible (Gutiérrez, 1991).

II. MÉTODO

En este trabajo de investigación se empleó el método deductivo y la observación directa. Se procedió al análisis de la bibliografía existente con respecto al proyecto a investigar, asimismo se estableció la metodología que se usará para el desarrollo y verificación del proyecto de investigación de acuerdo a lo siguiente:

Búsqueda bibliográfica y selección de datos.

Análisis del sistema.

Diseño del sistema.

Construcción de la aplicación.

Prueba del sistema.

Análisis de resultados.

Entrega del informe.

Búsqueda bibliográfica y selección de datos. Se contemplan las condiciones técnicas, económicas y de factibilidad que permitan la elaboración del proyecto preliminar para realizar el Sistema de Información geodésico topográfico, destinado a satisfacer una necesidad de cálculos matemáticos referentes a Topografía y Geodesia. Se tuvo en cuenta los factores de precisión requerida, disponibilidad de equipo, materiales, personal y facilidades para realizar la investigación.

La investigación se realizó en el gabinete de Topografía y Geodesia de la Facultad de Ingeniería Civil-UNFV, ubicado en el distrito de Magdalena del Mar, provincia y departamento de Lima.

Análisis del sistema. En esta etapa se hizo un levantamiento de información haciendo uso de técnicas de recolección de datos, como son los cuestionarios, entrevistas o documentos que permitan ver el procedimiento de cómo funcionan los procesos a automatizar.

Diseño del sistema. Se realizó el modelamiento de datos, es decir, se identificaron los entes para luego relacionarlos y de esta manera construir las tablas que almacenarán los datos. Además se diseñaron las entradas y salidas del sistema.

Construcción de la aplicación. En esta etapa se construyó el sistema haciendo uso del lenguaje de programación Visual Basic 6.0.

Prueba del sistema. Aquí se llevó a cabo la prueba del sistema por partes a medida que se avanzaba

con la programación, y siempre con una muestra de datos para comparar los resultados con lo buscado; y viendo que todas las interfaces acepten los datos o muestren los datos óptimamente.

Análisis de resultados. Se compararon los resultados dados por el sistema con los esperados o calculados por otras herramientas de medición previamente.

Entrega del informe. Contiene los datos de campo en cada pantalla de ingreso para cada proceso y que sirve de muestra para que el usuario pueda aplicar a otros casos, los métodos topográficos y geodésicos aplicados, los cálculos realizados mostrados en pantallas siendo los resultados esperados con las pruebas del sistema y comparados con el cálculo tradicional listo para ser representados en un plano y que sirva para el diseño de un proyecto de ingeniería.

Sistema de Información Topográfico y Geodésico (SisTopGeo)

El SisTopGeo es una herramienta para el procesamiento de datos topográficos y geodésicos que ejecuta las siguientes tareas:

- Almacena los datos de campo.
- Procesa los cálculos topográficos y geodésicos.
- Permite imprimir resultados.

El sistema está dividido en tres módulos: Topografía, Geodesia y Astronomía básica y son los siguientes:

A. Módulo topográfico. Realiza las siguientes acciones:

- Determina los ángulos horizontales y verticales de las poligonales y triangulaciones.
- Calcula la distancia (cuadrícula) y azimut de un lado, conociendo las coordenadas de dos estaciones. (Topográfico y geodésico)
- Calcula la resistencia de figuras (para conocer el mejor camino o ruta y calcular los lados de una triangulación).
- Cálculo de coordenadas: Se presentan dos opciones:

1. Poligonal cerrada.
2. Anclaje perfecto.

B. Módulo de geodesia. Se realizan las siguientes acciones:

- Considera el caso de transformaciones y son:
 1. Coordenadas geográficas a UTM.
 2. Coordenadas UTM a geográficas.

El ingreso de información se realiza por medio de pantallas amigables y menús interactivos con los que

ejecuta la variedad de opciones de cálculos y con ayuda de mensajes guiará el procesamiento.

En el país no se producen programas o software aplicables a estas especialidades, sino que se acude a software extranjero, como el Geocalc, Autocad Land, etc.

Indicaciones generales del sistema SisTopGeo

El sistema SisTopGeo funciona en una computadora compatible, procesador de 1 GHz de velocidad, Memoria RAM 500MB, Disco duro de 160GB, Monitor de video SVGA con resolución de 1024x840, Mouse óptico, Unidad de CD, Sistema operativo Microsoft Windows XP, impresora deseable.

La instalación del sistema SisTopGeo tan solo requiere el disco de instalación utilizando el archivo ejecutable Setup.exe que se encuentra dentro del CD, luego proceder con las indicaciones que aparecen en las ventanas.

Una vez instalado el programa, abra el programa ingresando a Inicio/ Programas/SisTopGeo.

Luego aparecerá una pantalla que le mostrará ingresar clave. Está protegido por una clave de ingreso para el usuario, sin ella no accederá al sistema; su función es únicamente proteger al sistema de personas no autorizadas; ingresando la clave se accede al ambiente SisTopGeo.

La familiaridad con los comandos del sistema proporcionan al usuario mayor seguridad y fiabilidad de los datos, además de la organización y eficiencia del trabajo, y que durante el proceso nos irá mostrando mensajes informativos de las etapas de ejecución durante el trabajo, que luego para continuar se pulsará la tecla *Aceptar*.

Cuando se ingrese a una opción, se encontrará con una pantalla con datos y corresponde a un ejemplo verificado, el mismo que se podrá ejecutar presionando el botón *Cálculo* y obtener los resultados esperados. Los resultados pueden ser impresos presionando el botón *Imprimir* y luego para que procesar otro trabajo se limpia la pantalla presionando el botón *Nuevo*.

Siempre que se utilice el sistema SisTopGeo es necesario verificar el buen funcionamiento del hardware, que todos sus elementos estén bien instalados y operativos.

III. RESULTADOS

La investigación se realizó en el Gabinete de Topografía y Geodesia de la Facultad de Ingeniería Civil-UNFV, para lo cual se utilizó información bibliográfica de las especialidades de topografía y geodesia.

Como primera acción se revisó y se efectuaron los planteamientos matemáticos necesarios, para luego aplicar en ellos los datos recogidos del terreno y que por Especialidad se desarrolló por separado siguiendo el menú del SisTopGeo.

Al ejecutar el sistema nos muestra la pantalla N.º 1 que corresponde a la Identificación del Usuario y clave.

Al ingresar la *clave* apropiada, y luego presionando el botón *Aceptar*, el sistema mostrará un menú general en la pantalla N.º 2.

La pantalla N.º 2 muestra el menú que ejecuta el sistema SisTopGeo y consta de:

Topografía y Geodesia.

Si accedemos al menú Topografía, se mostrarán las pantallas N.º 3 y 4 que indican todas las opciones que tienen para calcular y presentar resultados y son las siguientes:

Según nos muestran las tres pantallas visualizadas, primero se ejecutará el menú Topografía y es al cual nos vamos a referir describiendo todas sus opciones.

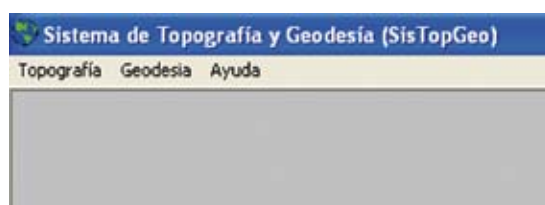
TOPOGRAFÍA

Describiendo la Topografía como la especialidad en la cual se obtienen los detalles del terreno apoyado en una red de control de orden superior, la representa-

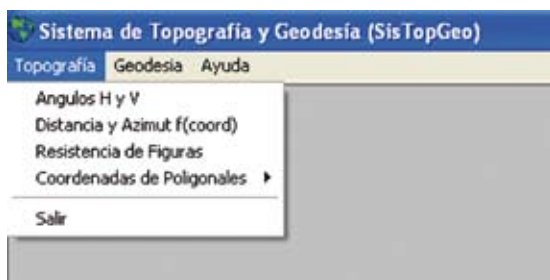
Pantalla N.º 1. Identificación y Clave del Usuario.



Pantalla N.º 2. Menú del Sistema de Información Topográfico y Geodésico.



Pantalla N.º 3. Menú de Topografía.



Pantalla N.º 4. Menú de Topografía. Coordenadas de Poligonales.



ción de las características del terreno son proyectadas sobre un plano horizontal.

Para el caso de los cálculos matemáticos aplicables a Topografía, el sistema SisTopGeo resolverá los cálculos según los siguientes submenús:

1. Submenú Ángulos H y V.

Para este submenú se cuenta con información del Registro de campo de Ángulos Horizontales y Verticales, que provienen de la medida con teodolito hecha con precisión de dichos ángulos por el Método de Reiteración en las dos posiciones del anteojo (PD y PI), pudiéndose medir 4 u 8 reiteraciones y que la figura topográfica puede ser:

- Una poligonal cerrada o abierta con medida de un solo ángulo,
- De una triangulación cuyos ángulos son medidos alrededor de una estación y con cierre de horizonte medidos en las dos posiciones del anteojo, para los dos ángulos medidos (horizontal y vertical).

Al seleccionar el submenú Ángulos H y V, la pantalla N.º 5 muestra los ángulos medidos y se encuentran por defecto visibles.

Pantalla N.º 5. Submenú Ángulos H y V (Ángulos Horizontales)

Se puede observar en la pantalla N.º 5 (Submenú Ángulos H y V):

- Los Datos Generales que hay que ingresar.
- Los Ángulos Horizontales para cuatro reiteraciones.
- Un croquis de las visuales de la estación solar
- Un botón para ejecutar los Ángulos Verticales, en otra pantalla.
- Los procesos a efectuar son:

- 1) Calcular
- 2) Imprimir
- 3) Nuevo
- 4) Salir

Cuando se tienen los datos ingresados completos como en la pantalla N.º 5, para calcular los ángulos compensados y con cierre de horizonte, se presiona el botón *Calcular*, y se obtendrán los ángulos promedios y luego los ángulos horizontales en Dirección Cero y los ángulos finales de Dirección aparecen al final de la columna origen cero y los ángulos netos para a cada número de ángulo requeridos (1 y 8) aparecen a la derecha de los mismos. Los resultados de Ángulos horizontales se pueden imprimir en la impresora, presionando el botón *Imprimir* (Pantalla N.º 6).

Pantalla N.º 6. Submenú Ángulos H y V. Impresión de Ángulos Horizontales.

Nota. Si aparece una letra “R” a la derecha del ángulo cero, significa que esa reiteración no se toma en cuenta, para los ángulos finales por estar fuera del rango del ángulo medio ± 5 .

Luego de determinar los Ángulos Horizontales, se tiene que calcular los Ángulos Verticales, presionando el botón *Ang. Verticales* y mostrará la pantalla N.º 7.

La pantalla N.º 7 muestra los Ángulos Verticales ingresados por defecto como ejemplo y se observa además que los Datos Generales, el número de reiteraciones, los puntos visados y el croquis ya tienen datos y que fueron transferidos desde los Ángulos Horizontales. Aquí en esta pantalla solo se ingresan los Ángulos Verticales mostrados (PD y PI).

Al presionar el botón *Calcular*, se obtienen los resultados esperados de los Ángulos Verticales para las visuales requeridas (Pantalla N.º 8).

Si requiere los resultados impresos, solo presione el botón *Imprimir*.

Pantalla N.º 7. Topografía. Submenú Ángulos H y V (Ángulos Verticales).

Nuevo registro.- Si requiere calcular otro Registro de Ángulos Horizontales y Verticales, tiene que borrar primero los datos de ángulos calculados que aparecen en la pantalla (blanquear), presionando el botón *Nuevo*. Ahora ingrese los nuevos datos y realizar los mismos pasos para tener sus ángulos requeridos.

Si no hay más datos que procesar, salir de esta opción presionando *Salir*.

2. Submenú Azimut y distancia f(coord)

Aquí se calcula el azimut de una línea o lado conociendo las coordenadas de los vértices extremos.

El Azimut es el ángulo horizontal horario formado por el norte y la línea o lado de referencia. Cuando se tiene coordenadas UTM, entonces el azimut toma el nombre de azimut de cuadrícula.

Al seleccionar el submenú **Distancia y Azimut f(coord)**, aparece la pantalla N.º 9, que es la pantalla de ingreso de Datos de las dos estaciones y sus

Pantalla N.º 8. Submenú Ángulos H y V. Impresión de Ángulos Verticales.

Pantalla N.º 9. Submenú Distancia y Azimut f(coord).

Pantalla N.º 10. Submenú Distancia y Azimut f(coord). Resultados.

Pantalla N.º 11. Submenú Resistencia de Figuras.

coordenadas UTM; se observa que tiene datos de entrada de ejemplo que aparece por defecto.

En el lado derecho medio de la pantalla se presenta un croquis para el ejemplo con los datos mostrados, que puede servir para calcular los azimuts de la poligonal mostrada. En este caso calculará el azimut del lado Bco. Hipotecario a C° La Milla y además la distancia del lado y para ello se presiona el botón *Calcular* y sobre la misma pantalla se obtendrá el azimut solicitado (Pantalla 10).

Los resultados son: Azimut $t = 60^{\circ}35'39.3''$ usado en Topografía y la distancia del lado es 9012.447 m (distancia de cuadrícula por ser calculado a partir de coordenadas UTM).

Nota.- Observe que al final de la pantalla 10 dice: AZIMUT FIJO CALCULADO (T) = $t - (t - T) = 60^{\circ}35'36.7''$. Este azimut fijo es usado en geodesia para el cálculo de coordenadas UTM y toma en cuenta la curvatura terrestre (t-T).

Si requiere los resultados impresos, solo presione el botón *Imprimir*.

Nuevo registro.- Para calcular otro Azimut, tiene que borrar primero los datos calculados que aparecen en la pantalla (blanquear), presionando el botón *Nuevo*. Ahora ingrese los nuevos datos y realizar los mismos pasos para tener el azimut y distancia requeridos.

Si no hay más datos que procesar, salir de esta opción presionando *Salir*.

3. Submenú Resistencia de Figuras.

Este submenú realiza un cálculo de la Resistencia de Figuras aplicado a las triangulaciones obteniendo cuatro coeficientes, de los cuales se selecciona el menor e indica de esta manera el mejor camino o ruta

tomando los mejores ángulos y sirve para calcular los lados de la triangulación.

Al seleccionar el submenú **Resistencia de Figuras**, aparece la pantalla N.º 11, que muestra el ingreso de Datos de ocho Ángulos Horizontales medidos con cierre de horizonte de una triangulación de 3^{er} orden; dichos ángulos son de entrada de un ejemplo y aparece por defecto.

Para calcular la Resistencia de Figuras se utilizan tres pantallas (Pantallas N.º 11, 12 y 13).

El ingreso de datos es en la pantalla N.º 11; presiona el botón *Calcular* y aparecerá la pantalla N.º 12 en blanco;

Para obtener los resultados parciales presione el botón *Calcular* y son resultados de la ruta 1 y 2 (Pantalla N.º 12).

Enseguida presionar el botón *Continúa* y aparece la pantalla N.º 13 en blanco.

Presiona *Calcular* y mostrará los resultados incluyendo el resumen de Resistencia de Figuras que indica el mejor camino que es la ruta 2 que se muestra en la pantalla N.º 12.

Para obtener los resultados impresos, presione el botón *Imprimir* para cada pantalla y usando el botón *Regresar*.

Nuevo registro. Para calcular una nueva Resistencia de Figuras, tiene que borrar primero los datos calculados que aparecen en las tres pantallas (blanquear), presionando el botón *Nuevo*. Ahora ingrese los nuevos datos en la pantalla N.º 11 y realizar los mismos pasos para tener el mejor camino de la Resistencia de Figuras requeridos. Si no hay más datos que procesar, abandonar esta opción presionando *Salir*.

4. Submenú Cálculo de Poligonales.

Este submenú realiza el cálculo de coordenadas topográficas del control horizontal de poligonales, desarrollando aquí tres casos comunes:

Pantalla N.º 12. Submenú Resistencia Figuras. Ruta 1 y 2.

a) **Submenú Poligonal Cerrada.** Es el caso más común en los trabajos de topografía aplicando poligonales cerradas y el objetivo es calcular las coordenadas topográficas que corresponde al control horizontal y que luego estas poligonales sirven como apoyo de levantamientos topográficos tomando puntos taquimétricos desde cada estación y obtener curvas de nivel.

Al seleccionar el submenú **Poligonal Cerrada**, aparece la pantalla N.º 14, que muestra el ingreso de Datos de Ángulos Horizontales internos y numerados en sentido antihorario y distancias medidas de una poligonal cerrada del ejemplo y que aparece por defecto, incluye las coordenadas de inicio del vértice A, el azimut del lado AB y un croquis de dicha poligonal. El sistema soporta hasta 30 vértices.

Para aplicar a otro trabajo se debe tomar en cuenta la forma que se muestra en el ejemplo, ingresando los datos en los casilleros en blanco, presionando previamente el botón nuevo (blanquear).

Para obtener los resultados preliminares de la poligonal cerrada se presiona el botón Calcular y mostrará

la nueva pantalla N.º 15, en blanco y presionando en ella el botón Calcular y previamente seleccionando las Tolerancias, por ejemplo Tolerancia angular = $\pm 30''/\sqrt{n}$, Error Relativo = $1/5000$, se tendrá los ángulos compensados. Si el error angular es menor que la tolerancia angular, se tendrá un mensaje como verificación "Ok Compensa Ángulos"; en caso contrario nos da el mensaje "Regresa al Campo"; si así fuera revisar los datos o regresar al campo.

Para tener las coordenadas de la poligonal se presiona el botón *Continúa* de la pantalla N.º 15 y nos mostrará la pantalla N.º 16 y luego presionando el botón *Calcular* se obtendrá las coordenadas buscadas con los errores de cierre y error relativo calculado el que fue previamente comparado mostrados en la parte inferior.

Con el botón *Regresar* se puede acceder a la pantalla anterior, hasta la pantalla inicial e ir imprimiendo cada pantalla con resultados.

Nuevo registro. Para calcular nuevas Coordenadas de otra Poligonal cerrada, primero tiene que borrar los datos calculados que aparecen en las tres pantallas

Pantalla N.º 13. Submenú Resistencia Figuras. Ruta 3 y 4.

Pantalla N.º 15. Submenú Poligonal Cerrada (Cálculos preliminares).

Pantalla N.º 14. Submenú Poligonal Cerrada (Ejemplo).

Pantalla N.º 16. Submenú Poligonal Cerrada (Cálculos de Coordenadas).

Pantalla N.º 17. Submenú Anclaje perfecto (Ejemplo).

DATOS DE UNA POLIGONAL ANCLAJE PERFECTO

Lugar: Lima Fecha: 14/11/2008

Ingreso Ángulos Horizontales

Nº	Ángulo medido
1	142° 30' 30"
2	170° 10' 40"
3	180° 10' 30"
4	120° 10' 30"
5	142° 30' 30"

Ingreso Distancias (m)

Lado	Dist. med.
P-Q	200.000
Q-R	170.000
R-S	180.000
S-T	120.000
T-P	142.000

Ingreso Coord. Origen y Llegada

Vértice: ESTE NOROCCIDENTE

P: 527479.007 162004.200

Q: 527487.267 162017.000

Ingreso Puntos Origen y Llegada

R: 527479.007 162017.000

S: 527487.267 162017.000

Elección de la Poligonal Anclada

Diagrama de la poligonal anclada.

Pantalla N.º 19. Submenú Anclaje perfecto (Cálculo de Coordenadas).

COORDENADAS DE UNA POLIGONAL ANCLAJE PERFECTO

Lugar: Lima Fecha: 14/11/2008

Vértice	Latitud	Longitud	Dist. med.	Dist. calc.	Dist. dif.	Coord. calculadas	Coord. absolutas
P	10° 00' 00"	78° 00' 00"	200.000	200.000	0.000	527479.007	162004.200
Q	10° 00' 00"	78° 00' 00"	170.000	170.000	0.000	527487.267	162017.000
R	10° 00' 00"	78° 00' 00"	180.000	180.000	0.000	527479.007	162017.000
S	10° 00' 00"	78° 00' 00"	120.000	120.000	0.000	527487.267	162017.000
T	10° 00' 00"	78° 00' 00"	142.000	142.000	0.000	527479.007	162017.000

Pantalla N.º 18. Submenú Anclaje perfecto (Cálculos preliminares).

CALCULOS DE UNA POLIGONAL ANCLAJE PERFECTO

Lugar: Lima Fecha: 14/11/2008

Tolerancias

Tolerancia Angular (T) = $\pm 10'' \sqrt{n}$

Error Relativo (E) = $1/5000$

Ángulos Compensados

Nº	Ángulo medido	Correc.	Ángulo compensado
1	142° 30' 30"	-2.5"	142° 30' 27.5"
2	170° 10' 40"	-2.5"	170° 10' 37.5"
3	180° 10' 30"	-2.5"	180° 10' 27.5"
4	120° 10' 30"	-2.5"	120° 10' 27.5"
5	142° 30' 30"	-2.5"	142° 30' 27.5"

Ángulos de Cierre y Verificación

Error de Cierre Angular (E) = $\pm 15''$

Tolerancia Angular (T) = $\pm 15''$

Verificación: $E \leq T$ $15'' \leq 15''$ OK Compensa Ángulos

Compensación Angular:

$E = \frac{15''}{5} = 3''$

Botones: Calcular, Ingresar, Nuevo, Regresar, Continúa.

Pantalla N.º 20. Menú de Geodesia. Transformaciones.

Sistema de Topografía y Geodesia (SisTopGeo)

Topografía Geodesia Ayuda

Transformaciones

Coordenadas Geográficas a UTM

Coordenadas UTM a Geográficas

(blanquear), presionando el botón *Nuevo*. Ahora ingrese los nuevos datos en la pantalla N.º 14 y realizar los mismos pasos para tener las coordenadas requeridas.

Si no hay más datos que procesar, salir de esta opción presionando *Salir*.

b) Submenú Anclaje perfecto. Es otro de los casos comunes en los levantamientos Topográficos Longitudinales de carreteras, canales, etc.

Al seleccionar el submenú **Anclaje perfecto**, aparece la pantalla N.º 17, que muestra el ingreso de Datos de Ángulos Horizontales medidos a la derecha y numerados 1 a 6 y las distancias medidas de una poligonal anclada de ejemplo y aparece por defecto, incluyendo las coordenadas UTM de inicio (partida) del vértice P y final (llegada) del vértice Q, los rumbos de partida y llegada y un croquis para dicha poligonal anclada. El sistema soporta hasta 23 vértices.

Para aplicar a otro trabajo se debe tomar en cuenta la forma que se muestra en el ejemplo, ingresando los datos en los casilleros en blanco, presionando previamente el botón *nuevo*.

Para obtener los resultados preliminares de la poligonal anclada se presiona el botón *Calcular* y mostrará la nueva pantalla N.º 18, en blanco y presionando en ella el botón *Calcular* y previamente seleccionando

las Tolerancias, por ejemplo la Tolerancia angular = $\pm 10'' \sqrt{n}$, y el Error Relativo = $1/5000$, se tendrá los ángulos compensados. Si el error angular es menor que la tolerancia angular se tendrá un mensaje como verificación "Ok Compensa Ángulos"; en caso contrario nos da el mensaje "Regresa al Campo", si así fuera revisar los datos o regresar al campo.

Para obtener las coordenadas de la poligonal anclaje perfecto se presiona el botón *Continúa* de la pantalla N.º 18 y nos mostrará la pantalla N.º 19 en blanco y luego presionando el botón *Calcular* se obtendrá las coordenadas buscadas con los errores de cierre y error relativo calculado el que fue previamente comparado y mostrados en la parte inferior de la pantalla.

Con el botón *Regresar* se puede acceder a la pantalla anterior, hasta la pantalla inicial e ir imprimiendo cada pantalla con resultados.

Nuevo registro. Para calcular nuevas Coordenadas de otra Poligonal cerrada, tiene que borrar primero los datos calculados que aparecen en las tres pantallas (blanquear), presionando el botón *Nuevo*. Ahora ingrese los nuevos datos en la pantalla N.º 17 y realizar los mismos pasos para tener las coordenadas requeridas.

Si no hay más datos que procesar, salir de esta opción presionando *Salir*.

GEODESIA

Rama de la ciencia cuyo objetivo es determinar la Posición de Puntos sobre la Superficie de la Tierra y apoyados en ellos determinar la Forma y Dimensiones de una parte del terreno y/o de la Superficie de la Tierra, considerando la Curvatura de ella y a partir del cual proporcionar los Mapas Nacionales e Internacionales sobre los que se asienta el desarrollo de una nación.

La pantalla N.º 2 muestra el menú que ejecuta el sistema SisTopGeo tal como:

Topografía y Geodesia.

Si accedemos al menú Geodesia, se mostrará la pantalla N.º 20 que indica las opciones para calcular y presentar resultados y son las siguientes:

Según nos muestra la pantalla visualizada, ahora se ejecutará el menú Geodesia, del que se describirán las opciones.

Submenú Transformaciones. Este submenú realiza el cálculo de la transformación de coordenadas más comunes y que están basadas en las fórmulas geodésicas; se consideran seis casos y se explicará cada caso.

a) **Submenú Coordenadas Geográficas a UTM.** Este caso es el más común aplicados en Geodesia cuyo objetivo es dibujar estos vértices en el plano y también para calcular las coordenadas UTM de poligonales.

Al seleccionar el **submenú Coordenadas Geográficas a UTM**, aparece la pantalla N.º 21, que muestra por defecto un ejemplo calculado con la siguiente información:

- Datos Generales.
- Ingrese Coordenadas Geográficas.
- Coordenadas UTM (metros) (es el resultado)
- Proceso.

Pantalla N.º 21. Menú Geodesia. Transformar Coordenadas Geográficas a UTM.

- Mantenimiento.
- Desplazamiento.

Estamos observando una pantalla con datos de ingreso y con resultados y que corresponde a un ejemplo, para mostrar el funcionamiento.

Se puede trabajar de tres maneras:

Primero, si se tiene datos independientes, se puede calcular las coordenadas UTM, limpiando previamente todos los campos para ingresar nueva información y para ello debe presionar el botón Nuevo.

Con los nuevos datos ingresados puede obtener su resultado esperado, presionando el botón *Calcular*.

Si desea puede imprimir el resultado presionando el botón *Imprimir*.

Si desea que los datos iniciales se conserven, puede presionar el botón *Guardar* y pasarán a formar parte de una Base de Datos.

Aplicamos este caso a un segundo ejemplo y tal como se muestran los datos y resultados en la pantalla N.º 22.

Se observa que este primer caso transforma las coordenadas Estación por Estación individual y si requiere puede ir guardando la información en una Base de Datos.

Segundo, si se tiene datos guardados en una Base de Datos creados anticipadamente con la pantalla N.º 21 y 22.

En este caso se buscará la información en la Base de Datos utilizando los símbolos de desplazamiento, que están ubicados en la parte inferior de la pantalla N.º 22, hasta encontrar la estación buscada.

Una vez encontrada la estación cargarán los datos y su resultado automáticamente y enseguida podrá imprimir los resultados si desea.

Pantalla N.º 22. Menú Geodesia. Transformar Coordenadas Geográficas a UTM.

Para aplicar a otro trabajo se debe tomar en cuenta la forma que se muestra en el ejemplo, presionando el botón *nuevo* (blanquear) y luego ingresando los datos en los casilleros en blanco.

Mantenimiento. Esta parte de mantenimiento es para actualizar la Base de datos y realiza las siguientes opciones:

- Nuevo; cuando se desea limpiar la pantalla e ingresar nuevos datos.
- Modificar; cuando requiera modificar algún dato.
- Guardar; cuando requiera grabar nueva información.
- Eliminar; si requiere eliminar alguna estación con todos sus datos.
- Cancelar; dejar sin efecto la opción.
- Salir; cuando desea abandonar la pantalla actual.

Desplazamiento. Permite desplazarse en la Base de Datos según se use los siguientes símbolos:

- Desplazarse al inicio de la Base de Datos.
- Avanza una estación a la izquierda o hacia arriba.
- Avanza una estación a la derecha o hacia abajo.
- Desplazarse al final de la Base de Datos.

Tercero, utilizando una Base de Datos (Pantalla N.º 23), que se accede a esta pantalla desde la anterior N.º 22 presionando el botón *Abrir Archivo*. Permite transformar las Coordenadas Geográficas a UTM de un grupo de estaciones filtradas seleccionadas con los controles que aparecen en la pantalla.

La pantalla permite las siguientes tareas:

- “*Filtro*” para seleccionar el Lugar y Elipsoide.
- “*Filtrar Fechas*” (Desde ... Hasta)
- “*Llenar Lista*”, que coloca los datos de las Estaciones seleccionadas en la ventana de listado superior.
- La ventana superior de listado para mostrar las Estaciones seleccionadas de ingreso.
- La ventana inferior de listado para mostrar las Estaciones de resultados.
- El botón “*Guardar Archivo...*” para guardar los resultados en un archivo de texto y posteriormente imprimirlo.
- El botón “*Transformar*” hace el cálculo y presenta los resultados en la ventana inferior.
- El botón “*Limpiar*” limpia la ventana respectiva, para luego seleccionar otras Estaciones.

Transformar las Coordenadas Geográficas a UTM. Se seleccionan las estaciones que se requieren, además del elipsoide respectivo, las que aparecerán en la primera ventana superior.

Luego presionando el botón “Transformar”, se tendrán los resultados en Coordenadas UTM en la segunda ventana inferior para ser visualizados.

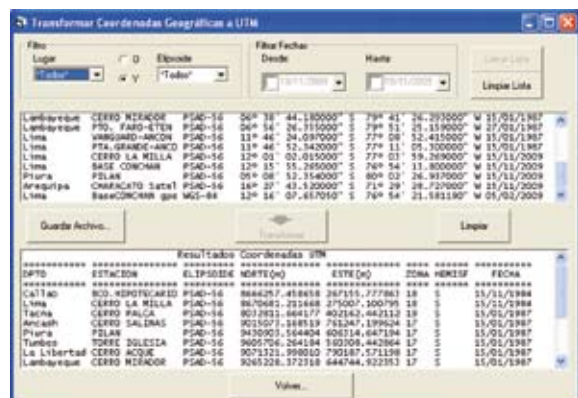
Luego guardar los resultados en un archivo de texto presionando el botón *Guardar Archivo* para imprimir los datos y resultados completos (Cuadro N.º 1).

Como ejemplo de aplicación se toma la información de la Base de Datos con las Estaciones seleccionadas y los resultados se muestran en la pantalla N.º 24.

Pantalla N.º 23. Transformar Coordenadas Geográficas a UTM - Base de Datos



Pantalla N.º 24. Transformar Coord. Geográficas a UTM. Varias Estaciones.



Cuadro N.º 1: Transf. Coord. Geográficas a UTM – Varias Estaciones

Ingreso: Coordenadas GEOGRÁFICAS - Nov. 2009

DPTO	ESTACIÓN	ELIPSOIDE	LATITUD	LONGITUD	FECHA
Callao	BCO.HIPOTECARIO	PSAD-56	12° 03' 23.980000" S	77° 08' 19.883000" W	15/11/1984
Lima	CERRO LA MILLA	PSAD-56	12° 01' 02.015000" S	77° 03' 59.269000" W	15/11/1984
Tacna	CERRO PALCA	PSAD-56	17° 47' 23.067000" S	69° 55' 22.928000" W	15/01/1987
Ancash	CERRO SALINAS	PSAD-56	08° 54' 09.146000" S	78° 37' 28.367000" W	15/01/1987
Piura	PILAN	PSAD-56	05° 08' 52.354000" S	80° 02' 26.937000" W	15/01/1987
Tumbes	TORRE IGLESIA	PSAD-56	03° 34' 01.391000" S	80° 27' 25.228000" W	15/01/1987
La Libertad	CERRO ACQUE	PSAD-56	08° 23' 33.114000" S	78° 21' 54.421000" W	15/01/1987
Lambayeque	CERRO MIRADOR	PSAD-56	06° 38' 44.180000" S	79° 41' 26.293000" W	15/01/1987
Lambayeque	PTO. FARO-ETEN	PSAD-56	06° 56' 26.355000" S	79° 51' 25.159000" W	27/01/1987
Lima	VANGUARD-ANCÓN	PSAD-56	11° 46' 24.097000" S	77° 08' 52.415000" W	15/01/1987
Lima	PTA.GRANDE-ANCÓN	PSAD-56	11° 46' 52.342000" S	77° 11' 05.300000" W	15/01/1987
Lima	CERRO LA MILLA	PSAD-56	12° 01' 02.015000" S	77° 03' 59.269000" W	15/11/2009
Lima	BASE CONCHÁN	PSAD-56	12° 15' 55.265000" S	76° 54' 13.800000" W	15/11/2009
Piura	PILAN	PSAD-56	05° 08' 52.354000" S	80° 02' 26.937000" W	15/11/2009
Arequipa	CHARACATO Satel	PSAD-56	16° 27' 43.520000" S	71° 29' 28.727000" W	15/11/2009
Lima	BASE CONCHÁN	gps WGS-84	12° 16' 07.657050" S	76° 54' 21.581190" W	05/02/2009

Resultados: Coordenadas UTM.

DPTO	ESTACIÓN	ELIPSOIDE	NORTE(m)	ESTE(m)	ZONA HEMISF	FECHA
Callao	BCO.HIPOTECARIO	PSAD-56	8666257.458658	267155.777863	18 S	15/11/1984
Lima	CERRO LA MILLA	PSAD-56	8670681.211668	275007.100795	18 S	15/11/1984
Tacna	CERRO PALCA	PSAD-56	8032811.664177	402162.442112	19 S	15/01/1987
Ancash	CERRO SALINAS	PSAD-56	9015073.168519	61247.199624	17 S	15/01/1987
Piura	PILAN	PSAD-56	430903.564404	606314.647194	17 S	15/01/1987
Tumbes	TORRE IGLESIA	PSAD-56	9605706.264184	560308.442864	17 S	15/01/1987
La Libertad	CERRO ACQUE	PSAD-56	9071321.998010	790187.571198	17 S	15/01/1987
Lambayeque	CERRO MIRADOR	PSAD-56	9265228.372318	644744.922353	17 S	15/01/1987
Lambayeque	PTO. FARO-ETEN	PSAD-56	9232650.885132	626275.846056	17 S	27/01/1987
Lima	VANGUARD-ANCON	PSAD-56	8697597.106797	265928.852175	18 S	15/01/1987
Lima	PTA.GRANDE-ANCO	PSAD-56	8696697.887907	61911.210387	18 S	15/01/1987
Lima	CERRO LA MILLA	PSAD-56	8670681.211668	275007.100795	18 S	15/11/2009
Lima	BASE CONCHAN	PSAD-56	8643357.331690	292912.169736	18 S	15/11/2009
Piura	PILAN	PSAD-56	9430903.564404	606314.647194	17 S	15/11/2009
Arequipa	CHARACATO Satel	PSAD-56	8178288.343442	233990.117021	19 S	15/11/2009
Lima	BaseCONCHAN gps	WGS-84	8642990.475443	292687.965998	18 S	05/02/2009

b) **Submenú Coordenadas UTM a Geográficas.** Es el caso inverso al submenú anterior aplicados en Geodesia cuyo objetivo es transformar las Coordenadas UTM a Geográficas.

Al seleccionar el **submenú Coordenadas UTM a Geográficas**, aparece la pantalla N.º 25, que muestra un ejemplo calculado con la siguiente información:

- Datos Generales.
- Ingrese Coordenadas UTM.
- Coordenadas Geográficas (metros) (es el resultado)
- Proceso.
- Mantenimiento.
- Desplazamiento.

El ingreso de datos generales, coordenadas UTM, manejo de la Base de Datos, mantenimiento, es similar al caso explicado de Transformación de coordenadas Geográficas a UTM.

IV. COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON OTRAS INSTITUCIONES

Para dar validez a los cálculos realizados por el SisTopGeo, se ha utilizado información de otras entidades, una nacional como el Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2007) que elaboró el programa “Cálculos Geodésicos” y programas extranjeros como Franson Technology AB (2003-2005) cuyo nombre del programa es “CoordTrans” y accesible desde Internet y también el programa “Geocalc” (1992-1994) que titula The Geographic Calculator de Blue Marble Geographics, cuyos resultados se presentan en el Cuadro N.º 2.

Pantalla N.º 25. Menú Geodesia. Transformar Coordenadas UTM a Geográficas.

Con los sistemas mencionados se ha calculado la transformación de Coordenadas Geográficas a UTM, y con los resultados se hizo dos comparaciones:

La primera comparación se hizo tomando en cuenta los resultados de SisTopGeo como fijos, y como referencia los otros programas, observando que con el IGN la estación cerro La Milla la diferencia es la máxima en el este en 0.095mm de variación siendo aceptable este valor, mientras que en el norte la variación máxima es de 12.42 mm considerando a la estación Characato (2do Orden) y la variación máxima de la estación Bco. Hipotecario (1er Orden) es 8.358 mm.

Con respecto al programa Franson, al este la máxima variación de la estación Characato (2do Orden) es -2.979 mm, mientras que en el primer Orden en la estación Pilán la máxima variación es -2.806mm, teniendo en cuenta que la transformación de este programa es redondeado al centímetro. En el norte la máxima variación para el primer orden es de la estación Base Conchán en 11.690 mm.

Cuadro N.º 2. Comparación de la Transformación de Coordenadas Geográficas a UTM

Vertice	Elipsoide	Latitud		Longitud		Zona	SisTopGeo		IGN		FRANSON		GEOCALC	
		o	'	o	'		Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte
Pilán	PSAD-56	5	8	52.354	S	80	2	26.937	W	17	606314.647194	9430903.564404	606314.6472	9430903.56147
Bco. Hipotecario	PSAD-56	12	3	23.980	S	77	8	19.883	W	18	267155.777863	8666257.458658	267155.7778	8666257.45020
Cerro La Milla	PSAD-56	12	1	2.015	S	77	3	59.269	W	18	275007.100795	8670681.211668	275007.1007	8670681.20349
Base Conchan	PSAD-56	12	15	55.265	S	76	54	13.800	W	18	292912.169736	8643357.331690	292912.1697	8643357.32385
Characato	PSAD-56	16	27	43.520	S	71	29	28.727	W	19	233990.117021	8178288.343442	233990.1170	8178288.33051
Base Conchan GPS	WGS-84	12	16	7.65705	S	76	54	21.581	W	18	292687.965998	8642990.475443	292687.9660	8642990.46701

Variación mantenimiento fijo SisTopGec (en mm)

Vertice	Elipsoide	Latitud		Longitud		Zona	SisTopGeo		IGN		FRANSON		GEOCALC	
		o	'	o	'		Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte
Pilán	PSAD-56	5	8	52.354	S	80	2	26.937	W	17	0.000	0.000	-0.006	3.004
Bco. Hipotecario	PSAD-56	12	3	23.980	S	77	8	19.883	W	18	0.000	0.000	0.063	8.358
Cerro La Milla	PSAD-56	12	1	2.015	S	77	3	59.269	W	18	0.000	0.000	0.095	8.168
Base Conchan	PSAD-56	12	15	55.265	S	76	54	13.800	W	18	0.000	0.000	0.036	7.890
Characato	PSAD-56	16	27	43.520	S	71	29	28.727	W	19	0.000	0.000	0.021	12.442
Base Conchan GPS	WGS-84	12	16	7.65705	S	76	54	21.581	W	18	0.000	0.000	-0.002	8.543

Variación mantenimiento fijo IGN (en mm)

Vertice	Elipsoide	Latitud		Longitud		Zona	SisTopGeo		IGN		FRANSON		GEOCALC	
		o	'	o	'		Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte
Pilán	PSAD-56	5	8	52.354	S	80	2	26.937	W	17	0.006	-3.004	0.000	0.000
Bco. Hipotecario	PSAD-56	12	3	23.980	S	77	8	19.883	W	18	-0.063	-8.358	0.000	0.000
Cerro La Milla	PSAD-56	12	1	2.015	S	77	3	59.269	W	18	-0.095	-8.168	0.000	0.000
Base Conchan	PSAD-56	12	15	55.265	S	76	54	13.800	W	18	-0.036	-7.890	0.000	0.000
Characato	PSAD-56	16	27	43.520	S	71	29	28.727	W	19	-0.021	-12.442	0.000	0.000
Base Conchan GPS	WGS-84	12	16	7.65705	S	76	54	21.581	W	18	0.002	-8.543	0.000	0.000

Si comparamos con el Geocalc se observa en la estación Bco. Hipotecario la variación máxima es al este en 0.043 mm (1er orden) y en el norte la variación máxima para la misma estación es 8.458 mm.

De manera similar, cuando se hacen las comparaciones manteniendo fijo el IGN, la máxima variación al este es -2.8 mm para la estación Pilán (1er Orden) igualando este valor para Franson y Geocalc.

En el norte la máxima variación -8.358mm es para la estación Bco. Hipotecario del sistema SisTopGeo.

IV. DISCUSIÓN

Mediante el Sistema de Información Geodésico Topográfico (SisTopGeo), presentado en la Investigación 2009, se procesó todos los menús que aparecen en el sistema, tomándose un ejemplo para cada submenú y que sirva de modelo al usuario; teniendo que solo blanquear el usuario los campos y luego ingresar sus propios datos de Topografía, Geodesia y Astronomía Básica.

Con los datos y resultados obtenidos aplicados a los sistemas SisTopGeo, Progradeod (IGN), CoordTrans (Franson Technology) y Geocalc (Blue Marble Geographics), se hicieron las comparaciones y se obtuvieron resultados satisfactorios con lo que se comprobó que el SisTopGeo da resultados confiables.

Tal es así que al hacer las comparaciones de transformación de Coordenadas Geográficas a UTM procesado por los cuatro sistemas se encuentra que la máxima variación al este es de -2.806mm para la Estación Pilán (1er Orden) y en el norte la máxima variación es de 8.458mm para la estación Bco. Hipotecario; todo comparado con el sistema SisTopGeo.

En las comparaciones con el IGN, se encuentra que la máxima variación al Este es -2.80 mm que corresponde a la estación Pilán (1er Orden) y para el norte la máxima variación es -8.358 mm para la estación Bco. Hipotecario.

Con las dos comparaciones se observa que en el eje de las abscisas (este) se tiene una máxima variación de -2.8 mm y en el eje de las ordenadas (norte) dicha variación es de ± 8.4 mm, para estaciones de primer orden; por lo que se puede concluir que los resultados encontrados por el SisTopGeo son aplicables a nuestra realidad.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chueca, P. M. (1996). *Topografía. Tomo I, II*. Edit. Dossat, S.A. Madrid.
2. Gutiérrez, E. (1991). *Comportamiento de la matriz de incidencia en la compensación de redes de nivelación topográfica*. Tesis de Maestría. Escuela Universitaria de Posgrado, Universidad Nacional Federico Villarreal, Edit. UNI. Lima.
3. F-203, Material de Referencia.
4. IGN (2005). *Proyecto de Normas Técnicas de Levantamientos Geodésicos*. Dirección de Geodesia. Perú.
5. IGN (2007). *Cálculos Geodésicos* (Progradeod). Perú
6. Martín, F. A. (1992). *Geodesia y Cartografía Matemática*. Edit. Paraninfo S.A., 3ra. edición. Madrid.
7. Serafín, L. C. & Estévez (1980). *Fotogrametría*. Ed. EGRAF S.A. Madrid.